Sur l'application des Rayons X aux études paléontologiques (suite et fin)[1].

Par J. Roger.

II. — Technique des rayons X appliquée a la Paléontologie.

Je n'ai pas l'intention de rédiger un article sur la technique de la radiographie mais simplement de fixer les conditions particulières de son application à l'étude des fossiles et ainsi de détacher les facteurs d'une réussite aussi complète que possible du but poursuivi. La radioscopie ne peut être que d'un faible secours car l'observation demande une accoutumance passablement longue et ne donne qu'imparfaitement les détails. Elle est d'ailleurs beaucoup plus difficile et pénible et ne saurait servir que comme indication préliminaire dans quelques cas.

Le faisceau de rayons X vient impressionner une plaque sensible après avoir traversé une couche de roche plus ou moins importante et donne ainsi une ombre portée de l'objet étudié.

Les conditions pour obtenir une radiographie aussi bonne que possible dépendent donc des facteurs que laisse prévoir la phrase précédente.

1° Energie du rayonnement transmis ;
2° Conditions diverses de l'impression des plaques sensibles ;
3° Nature de l'objet étudié.

1. *Energie du rayonnement transmis.* — Les premiers auteurs qui utilisèrent les rayons X ne pouvaient fixer de façon précise les conditions de leurs expériences. Il est maintenant possible, avec les progrès réalisés aussi bien dans le domaine de la fabrication des appareils de radiographie que dans celle des plaques photographiques, de procéder à une analyse plus précise.

Quatre facteurs interviennent, en dehors de ceux qui dépendent de l'objet, ce sont : la distance, l'intensité, la tension et le temps.

La distance intervient suivant la loi du carré. Quand les autres conditions le permettent dans les radiographies de fossiles on opère à distance assez grande car l'image est donnée par une ombre portée dont la netteté de contour dépend de l'exiguité de la surface

1. Cf. *Bull. Mus.*, t. XIX, 1947, p. 118.

d'émission et aussi du rapport entre la distance du film sensible à l'objet et la distance à la source. Pratiquement on opère à 20 ou 30 cm. pour les petits fossiles et de 60 cm. à 1 m. pour les pièces de grande surface et épaisses.

L'énergie transmise est proportionnelle à l'intensité. Dans la pratique on se sert de 15 à 45 mA.

L'élévation de la tension augmente très rapidement l'énergie du rayonnement mais suivant une loi complexe et se trouvant influencée par de nombreuses conditions opératoires. La nature de l'objet étudié et les qualités recherchées pour la photographie décident du choix de la différence de potentiel. Habituellement on utilise 30 à 60 kilovolts.

L'énergie du rayonnement est proportionnelle au temps de pose, qui oscille largement entre quelques secondes et une soixantaine.

2. *Conditions diverses de l'impression des plaques sensibles.* — La valeur des radiographies obtenues dépend en grande partie de l'effet de contraste, étant donné que les différences de transparence entre les parties du fossile et celui-ci et la gangue sont généralement faible. Les fortes tensions augmentent le contraste dans les régions des densités faibles et fortes, mais au contraire le diminuent dans les parties de densité moyenne. Les conditions de développement ont d'ailleurs elles aussi leur importance, il convient d'observer de façon très précise les températures et les durées de développement données par les fabricants. Il est parfois avantageux dans certains cas de surexposer et d'affaiblir ensuite le cliché.

Le contraste est souvent atténué par le rayonnement diffusé par les atomes de substance dans toutes les directions. Là interviennent l'épaisseur du matériel étudié et aussi le support utilisé ; par exemple quand on place le film sur une table de bois il est bon d'intercaler une lame de plomb. Afin de diminuer ce rayonnement diffusé on fait usage d'une grille de Potter-Bucky pour les corps épais, mais cela oblige à quadrupler les temps de pose. Pour les radiographies de fossiles cette grille est généralement négligée.

Les écrans renforçateurs (fluorescence du tungstate de calcium) diminuent considérablement les temps de pose (ils passent à 1/25 à 1/40 de leur valeur). Cependant ces écrans pour notre cas, n'ont qu'un médiocre intérêt car d'une part leur grain peut être plus gros que celui du film, d'autre part la durée de pose n'est pas gênante (le sujet est parfaitement immobile). D'ailleurs on livre des films à utiliser sans écran.

3. *Conditions dépendant du matériel.* — La pièce à radiographier doit être placée aussi exactement que possible perpendiculairement au faisceau de rayons X ; elle doit s'appliquer sur le film aussi complètement que possible, sans interposition de vides. Ces facteurs

ont une importance particulière pour la netteté du contour de l'ombre portée. Quand le fossile se trouve sur une des faces de la plaque il convient de tourner celle-ci l'empreinte contre la cassette de manière à ce que les bords des rayons subissent le moins possible de diffusion, qui gênerait pour la netteté du contour.

Il y a également avantage à utiliser des plaques de roche aussi minces que possible, d'épaisseur régulière. Assez souvent il est possible de réaliser ces conditions en usant convenablement l'échantillon de roche. Cependant on ne peut pas obtenir une surface plane sur les deux faces le plus souvent, notamment dans le cas d'échantillons qui ont été soumis à un dégagement partiel créant des inégalités. Lehmann étudiant les plaques de schistes dévoniens de Büdenbach (Hunsrück) a imaginé la méthode suivante pour des cas semblables *(méthode d'Einbettung)*. Les anfractuosités sont remplies d'une substance connue sous le nom de thorostrat (substance renfermant 25 % d'oxyde de thorium) convenablement diluée de façon à atteindre une opacité sensiblement égale à celle de la gangue. L'expérience lui montra la valeur du procédé (1938) [1].

L'influence de la nature de la gangue d'une part et des restes organisés de l'autre est un problème en réalité excessivement complexe. La constitution de la roche n'est pas homogène, le remplissage des cavités fossiles est généralement de nature sensiblement différente. Les tests conservés ont également subi des modifications non uniformes dans toute leur étendue.

Quand on ne considère que les corps purs les lois de la transparence aux rayons X sont simples, interviennent le nombre atomique des éléments et la compacité de l'échantillon. On conçoit que dans une roche fossilifère il devient impossible de baser des prévisions sur ces règles théoriques. C'est donc par l'expérience essentiellement qu'on peut tâcher d'orienter les tentatives de radiographies. Les essais expérimentaux ont été commencés, en même temps que ceux de Brühl sur les fossiles, par Doelter (1896, 1897 [2]). Cet auteur soumettait les espèces minérales au rayonnement de Röntgen il cherchait leur classement dans un ordre de transparence et les lois réglant l'influence des différents facteurs sur elle. Plus tard Branco (1906 [3]) soumettait au même essai les roches, employant

1. Lehmann W. M. (1938). Die Anwendung der Röntgenstrahlen in der Paläontologie. *Jahresb. Mitt. Oberrh. geol. Ver.*, t. 27, p. 16-24, 6 pl.

2. Doelter C. (1896). Anwendung der Röntgenschen X-Strahlen auf die Untersucheidung von Diamant, Bergkrystall und Strass. *Neues Jahrb. Miner. Petrogr. Pälaont.*, t. I, p. 211.

Id. (1896). Verhalten der Mineralien zu den Röntgenschen X-Strahlen. *Neues Jahrb. Miner. Petrogr. Paläont.*, t. 2, p. 87-106, 1 pl.

Id. (1897). Einige weitere Versuche über das Verhalten der Mineralien zu den Röntgenschen X-Strahlen. *Neues Jahrb. Miner., Petrogr. Paläont.*, t. I, p. 256-7.

3. Branco W. (1906). Die Anwendung der Röntgenstrahlen in der Paläontologie *Abh. preuss. Akad. Wiss.*, t. 2, p. 3-55, fig., 4 pl.

en somme un procédé plus global. Les résultats obtenus par Doelter manquent beaucoup de précision et pour une bonne partie ils ont été contestés par la suite. Les 65 minéraux étudiés par lui étaient rangés en 8 groupes d'opacité croissante du premier au huitième ; dans le premier on trouve par exemple l'ambre et le borax, dans le second nous trouvons le kaolin, dans le troisième le talc, dans le 4e le quartz, dans le 5e le mica muscovite, dans le 6e le gypse, la calcite, les oxydes de fer, la pyrite, etc., dans le 7e la baryte, dans le 8e le sulfure d'étain. Doelter lui-même note l'incertitude de cette échelle car les résultats dépendent beaucoup de l'appareillage utilisé et ne montrent pas de fidélité. La recherche de relations entre la densité, la composition chimique, le poids moléculaire et la transparence ne donne pas de résultats appréciables.

L'étude des roches de façon systématique quant à leur transparence aux rayons X, suivant des conditions expérimentales par Branco, le conduisent à conclure que dans l'ordre de transparence décroissante on aurait : les cendres volcaniques récentes, les schistes bitumineux, les sables quartzeux et feldspathiques, les tufs volcaniques consolidés, l'argile, les schites argileux et enfin les calcaires. Les grès ont d'ailleurs été soumis à une étude spéciale de Hartmann-Weinberg et Reinberg (1925 [1]) précisant l'influence du ciment. En réalité les facteurs intervenant sont si nombreux qu'il n'est pas possible d'obtenir des résultats de valeur absolument constante.

La nature du test possède aussi une influence au sujet de laquelle il n'est possible que de donner des indications d'ordre général.

Boni [2] distingue 4 catégories : les tests minces cornés, pellucides, comparables à ceux de coquilles actuelles et qui en général sont favorables à l'examen radiographique — les tests bien calcifiés cristallins, compacts, brillants, en général défavorables — les test altérés blanchâtres, un peu friables, généralement favorables — les tests grossiers, obscurs, assez résistants, qui le plus souvent chez les Brachiopodes donnent par radiographie des structures internes.

Il faudrait encore tenir compte du développement sur papier des clichés obtenus. En général celui-ci est très difficile et l'interprétation doit le plus souvent être faite sur les négatifs.

Les détails concernant la pratique de la radiographie pourront d'ailleurs se trouver dans des traités comme celuide Kaye G. W. [3].

Signalons encore une technique complémentaire, celle des stéréoradiographies proposée par divers auteurs (notamment Lehmann [4]). La radiographie correspondant à la projection d'une ombre portée

1. Hartmann-Weinberg A., Reinberg S. A. (1925). Die fossilhaltigen Gesteinsformationen im Rontgenbilde. *Bull. Acad. Sci. Russie*, p. 279-92, 2 pl.
2. Boni (A.) (1939) *loc. cit.*
3. Kaye G. W. (1922). Practical application of X-Rays. London.
4. Lehmann W. M. (1932). Stereo-Röntgenaufnahmen als Hilfsmittel bei der Untersuchung von Versteinerungen. *Nat. Mus.*, t. 62, p. 323-30, 12 fig.

on comprend que sur la plaque se trouvent représentés les corps contenus dans des plans successifs, ce qui, surtout pour des groupes fossiles aberrants, peut donner lieu à de fausses interprétations. Ce sont surtout les objets épais, présentant des surfaces courbes comme les concrétions, les Trilobites enroulés, etc... qui peuvent être soumis à ce procédé. Lehmann a obtenu notamment au sujet des appendices de certains Trilobites des informations intéressantes. Dans la pratique une stéréoradiographie se fait comme une stéréophotographie ordinaire, c'est-à-dire qu'il suffit de prendre deux clichés avec déplacement du tube à rayons X de 65 mm., quand la distance anode-film est égale à celle d'observation au stéréoscope. Il faut chercher à obtenir une netteté aussi grande que possible du contour des radiographies. Quand il s'agit de fossiles n'ayant que peu de relief, on peut utiliser un procédé d'ailleurs également appliqué en stéréographie ordinaire, qui augmente arbitrairement l'échelle des hauteurs par rapport à celle des surfaces. On exagère le déplacement latéral de la préparation ou du tube à rayons X. L'examen étant ensuite fait à distance normale au stéréoscope l'épaisseur apparente se trouve augmentée.

La technique paléontologique d'étude aux rayons X depuis 1896 a réalisé des progrès considérables, et intermittents. Maintenant elle ne peut certes pas donner dans tous les cas des résultats positifs mais le nombre de ses succès et leur valeur justifient amplement une tentative d'application et de perfectionnement.

III. — Voies possibles de perfectionnement de la méthode de radiographie appliquée a la paléontologie.

En premier lieu il faudrait mieux connaître les comportements des divers constituants soumis à l'étude quant à leur transparence aux rayons X. Ainsi il deviendrait possible de prévoir les cas susceptibles de donner de bons résultats et de régler plus scientifiquement les caractéristiques du rayonnement utilisé et ainsi d'améliorer sensiblement les clichés. Probablement conviendrait-il de suivre les modifications subies par divers groupes au cours de la fossilisation, en même temps que la gangue serait soumise aux études expérimentales comme celles de Doelter et Branco. Des travaux ont d'ailleurs été faits dans ce sens par Rogers [1]. En somme la connaissance plus précise des processus de fossilisation, notamment dans le domaine chimique, conduira certainement à des progrès.

En second lieu des techniques appliquées dans d'autres domaines

1. Rogers A. F. (1924). Mineralogy and petrography of fossil bones. *Bull. geol. Soc. Amer.*

devront être essayées en paléontologie. Ce sont essentiellement les microradiographies et les radiographies par réflexion.

La technique microradiographique semble assez bien mise au point pour ce qui concerne les êtres actuels. Depuis 1913 Goby [1] a publié une série de notes sur la question. Des précisions concernant l'histologie ont été données par Dauvillier récemment [2]. Enfin signalons un article très récent de Kreger [3]. C'est essentiellement du côté de la technique (nature des émulsions, position des pièces étudiées, etc.) que la microradiographie a réalisé des progrès. Il faudra chercher à les appliquer aux travaux paléontologiques.

La radiographie par réflexion a été également appliquée dans le domaine physique (Guimier et Devaux [4], Trillat [5]). Il semble que pour l'étude des fossiles elle pourrait rendre de grands services, mais aucun essai de cet ordre n'a encore été tenté à ma connaissance.

IV. — Organisation existant au centre d'études et de documentation paléontologiques du Muséum.

L'intérêt des travaux radiographiques en paléontologie m'était apparu depuis déjà longtemps et une première tentative faite en 1942 n'avait pu aboutir. Au cours d'une Mission en Allemagne j'ai pu voir les résultats obtenus par Lehmann à Kirn et les radiographies qu'il m'a généreusement données m'ont décidé à faire un nouvel essai à mon retour en France. J'ai pu grâce à la compréhension de diverses personnes obtenir le prêt d'un appareil à rayons X. Les premiers essais sont en cours et nous espérons cette année mettre son utilisation complètement au point.

Laboratoire de Paléontologie du Muséum.

1. Goby F. (1913). Une application nouvelle des rayons X : la microradiographie. *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 156, p. 686.
Id. (1925). La miroradiographie stéréoscopique en relief et en pseudorelif : lastéréomicroradiographie. *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 180, p. 735-7, fig.
Id. (1936). La microradiographie. Ses applications à l'anatomie végétale. *Bull. Soc. fr. Photo.*, t. 4, p. 310.
2. Dauvillier (1925). Réalisation de la microradiographie intégrale. *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 190, p. 1287-9, 1 fig.
3. Kreger D. (1945). A new micro method for X-ray structure investigations. *Nederl. Akad. Wetensch. Proc.*, t. 48, p. 336-7, 1 pl.
4. Guimier A., Devaux J. (1942). Sur la radiographie par réflexion. *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 214, p. 223-5.
5. Trillat (1943). Radiographie et microradiographie par transmission et par réflexion. *Bull. Soc. fr. Electr.*, 6e sér., t. 3, n° 25, p. 145-64, 24 fig.